

.УДК 620.179.16

**К. Л. НОЗДРАЧОВА****РОЗДІЛЬНО-ПОЄДНАНИЙ БЕЗКОНТАКТНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ЄМНІСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ІМПУЛЬСАМИ ПОВЕРХНЕВИХ ХВИЛЬ**

Розглянуті способи реалізації високочастотних ємнісних перетворювачів, нове виконання яких дозволило б підвищити достовірність виявлення дефектів об'єктів контролю за рахунок зменшення впливу когерентних завад. Поставлена задача вирішується так, що в ультразвуковому роздільно-поєднаному високочастотному ємнісному перетворювачі для контролю імпульсами хвиль Релея, що містить корпус та закріплені в ньому протектор, з'єднувачі, дві секції полоскових електродів розміщених в неелектропровідній неферромагнітній основі. Одна секція полоскових електродів є збуджуючою, а друга приймальною, обидві секції електродів розміщені в одній площині таким чином, що полоскові електроди секцій розташовані одна від одної на заданій відстані вздовж осі, яка перпендикулярна напрямку випромінювання ультразвукових імпульсів вздовж поверхні виробу, при цьому лінійні частини полоскових електродів збуджуючої та приймаючої секцій орієнтовані одна до одної під заданим кутом, перша збуджуюча секція полоскових електродів зміщена по відношенню до другої приймаючої секції полоскових електродів в напрямку випромінювання імпульсів хвиль Релея на задану величину. А також іще один спосіб, де секції полоскових електродів зміщені на задану величину вздовж відносно осі напрямку випромінювання імпульсів поверхневих ультразвукових хвиль. Перетворювач даної конструкції має підвищену захищеність від когерентних акустичних завад від різних типів ультразвукових хвиль.

**Ключові слова:** ультразвуковий контроль, безконтактний перетворювач, ємнісний перетворювач, електричне поле, електричні імпульси, вимірювання, діагностика, хвилі Релея.

**Е.Л. НОЗДРАЧЕВА****РАЗДЕЛЬНО-СОВМЕЩЕННЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЕМКОСТНОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИМПУЛЬСАМИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН**

Рассмотрены способы реализации высокочастотных емкостных преобразователей, новое исполнение которых позволило бы повысить достоверность выявления дефектов объектов контроля за счет уменьшения влияния когерентных помех. Поставленная задача решается так, что в ультразвуковом раздельно-совмещенном высокочастотном емкостном преобразователе для контроля импульсами волн Рэлея, содержащий корпус и закрепленные в нем протектор, соединители, две секции полосковых электродов, размещенных в неэлектропроводных неферромагнитными основе. Одна секция полосковых электродов является возбуждающей, а вторая приемной, обе секции электродов размещены в одной плоскости таким образом, что полосковые электроды секций расположены друг от друга на заданном расстоянии вдоль оси, перпендикулярной направлению излучения ультразвуковых импульсов вдоль поверхности изделия, при этом линейные части полосковых электродов возбуждающей и принимающей секций ориентированы друг к другу под заданным углом, первая возбуждающая секция полосковых электродов смещена по отношению ко второй принимающей секции полосковых электродов в направлении излучения импульсов волн Рэлея на заданную величину. А также еще один способ, где секции полосковых электродов смещены на заданную величину вдоль относительно оси направления излучения импульсов поверхностных ультразвуковых волн. Преобразователь данной конструкции имеет повышенную защищенность от когерентных акустических помех от различных типов ультразвуковых волн.

**Ключевые слова:** ультразвуковой контроль, бесконтактный преобразователь, емкостной преобразователь, электрическое поле, электрические импульсы, измерения, диагностика, волны Рэлея.

**K.L. NOZDRACHOVA****DUALS CAPACITIVE NON-CONTACTING ULTRASONIC TRANSDUCERS FOR IMPULSE CONTROL SURFACE WAVES**

The ways of realization of high-frequency capacitive transducers are considered, the new implementation of which would increase the reliability of detection of defects of testing objects by reducing the influence of coherent interference. The problem is solved so that in an ultrasonic separately coupled high-frequency capacitive converter to control the pulses of Rayleigh waves, containing the housing and the protector, connectors, two sections of strip electrodes housed in non-conductive non-ferromagnetic base. One section of the strip electrodes is exciting and the other is receiving, both sections of the electrodes are arranged in the same plane so that the strip electrodes of the sections are located at a predetermined distance along the axis, which is perpendicular to the direction of radiation of the ultrasonic pulses along the surface of the left side the electrodes of the excitation and receiving sections are oriented to each other at a predetermined angle, the first excitation section of the strip electrodes is displaced against to the second receiving section of the strip electrodes direction of radiation pulses of Rayleigh waves at a given value. Another way where the sections of the strip electrodes are displaced by a given value along the axis of the direction of radiation of the pulses of surface ultrasonic waves. The transducer of this construction has increased protection against coherent acoustic interference from various types of ultrasonic waves.

**Key words:** ultrasonic testing, non-contact transducer, capacitive transducer, electric field, electric pulses, measurements, diagnostics, volume waves.

**Вступ.** В даний час на металургійних підприємствах створені і досить ефективно працюють системи забезпечення якості продукції, що випускається. До одних з головних властивостей, які характеризують якість будь-яких виробів, відносяться їх надійність і безпека. Виключно важливу роль в забезпеченні необхідного рівня цих властивостей грають методи неруйнівного контролю. Використання неруйнівного контролю та технічної діагностики набуває все більшого значення, особливо при виробництві та експлуатації дорогих і наукомістких об'єктів. Цілком очевидно, що недостатність контролю

або його недостовірність можуть призводити до значних економічних втрат, а в ряді випадків до серйозних аварій і екологічних катастроф. Ультразвуковий контроль найбільш поширений фізичний метод неруйнівного контролю. У порівнянні з іншими методами ультразвуковий контроль має такі переваги: високу чутливість і продуктивність, можливість контролю при односторонньому доступі, відносно низьку вартість обладнання, безпеку. Недоліками ультразвукового контролю є: складна розшифровка дефектів, обмежене застосування для металів з великим зерном, складність контролю

© К.Л. Ноздрачова, 2019

виробів товщиною від 4 до 10 мм (при товщині до 4 мм ультразвуковий контроль практично не застосовується), необхідність розробки спеціальних методик (технологічних інструкцій, технологічних карт) при дефектоскопії виробів різних типів.

Ультразвуковий метод застосовують в основному для виявлення внутрішніх дефектів, але може бути використаний і для виявлення поверхневих дефектів. Найважливішою перевагою ультразвукового контролю є висока ймовірність виявлення найбільш небезпечних площинних дефектів. Експериментальним шляхом встановлено, що продуктивність ультразвукового контролю в середньому в 3-10 разів вище радіографічного [1]. Крім того, собівартість ультразвукового контролю в 4-8 разів нижче.

Ультразвуковий контроль є найбільш затребуваним фізичним методом неруйнівного контролю металовиробів. Однак необхідно врахувати, що його застосування пов'язане зі складною розшифровкою результатів контролю, а методики контролю різних типів з'єднань істотно розрізняються.

**Аналіз стану питання.** Традиційний ультразвуковий неруйнівний контроль поверхневими хвилями не отримав широкого застосування у зв'язку з фізичними обмеженнями (мала глибина прозвучування, вимога до якості поверхні). До того ж там, де можна використовувати релеєвські хвилі, цей метод часто замінюють дешевшими магнітними методами.

В даний час поверхневі хвилі використовують для обмеженої кількості виробів, таких як, наприклад, деталі після остаточної обробки, калібровані продукти та ін., так як загасання поверхневих хвиль крім ослаблення в матеріалі об'єкта обумовлюється ще й мікронерівностями поверхні, слідами бруду, мастила і т. п. [2]

Тріщини, щоб бути виявленими поверхневими хвилями, повинні бути незаповненими, тобто якщо тріщина має вихід назовні, то в результаті заповнення мастилом або водою вона може бути і не виявлена.

Але в той же час можна виявляти підповерхневі тріщини, що не виходять назовні, на відміну, наприклад, від капілярного методу [3].

**Постановка проблеми.** В умовах виробництва має велике значення продуктивність контролю. Ультразвукова дефектоскопія за допомогою об'ємних хвиль, а також вихрострумний контроль передбачає сканування всієї поверхні. Ця операція вимагає великих витрат часу. Хвилями Релея можна охопити велику площу контрольованого об'єкта не переміщуючи перетворювач. Зважаючи на мале загасання поверхневих хвиль вони поширюються на велику відстань, це дозволяє проводити дискретне сканування протяжних об'єктів з великим кроком, що мінімізує часові витрати. Використання поверхневих хвиль для контролю об'єктів складної форми дозволить отримати відчутний економічний ефект, особливо це актуально для об'єктів, що перебувають в експлуатації.

**Мета роботи.** Розробити і удосконалити нові типи ємнісних перетворювачів для контролю

металовиробів акустичними методами неруйнівного контролю, що забезпечували б збудження імпульсів ультразвукових поверхневих хвиль і мали високу захищеність від когерентних акустичних завад.

**Основна частина.** Контроль в процесі експлуатації вимагає портативності, безконтактності, що дозволить проводити контроль без ретельної зачистки об'єкту, довгого часу роботи від акумуляторів без підзарядки, малої ваги і деяких інших специфічних для конкретних областей застосування властивостей приладів.

З цієї точки зору застосування магнітних методів обмежена через їх громіздкість і енергоємність, а застосування ультразвукового контролю поверхневими хвилями, навпаки, надає величезні можливості – при набагато менших енерговитратах і порівняно малих габаритах він дозволяє вести всебічне дослідження зразка з високою швидкістю.

Технічна реалізація ультразвукових методів порівняно проста, якщо розглядати аналогічні портативні прилади для магнітного і вихрострумного контролю.

Відомі з літератури [4, 5] безконтактні ультразвукові перетворювачі для збудження імпульсів хвиль Релея та Лемба, які, в залежності від конструкції, можуть формувати різні діаграми спрямованості акустичного поля. Оскільки об'єкт контролю (ОК) приймає безпосередню участь в збудженні і прийомі акустичних імпульсів, то його характеристики також слід враховувати при конструюванні перетворювачів. Металевий корпус ультразвукового перетворювача виконує роль електромагнітного екрана, що в комплексі з іншими елементами конструкції підвищує завадостійкість і міцність конструкції. Важливими елементами приладу є збуджуючий та приймаючий елементи, які визначають частоту ультразвукових імпульсів у поверхневому шарі ОК, яка, як правило, задається нормативно-технічною документацією.

Недоліком цих перетворювачів є формування діаграми спрямованості акустичного поля в двох протилежних напрямках, що може приводити до появи імпульсів когерентних завад і, відповідно, до неправильної оцінки якості ОК.

В роботах [6, 7] описується безконтактний ультразвуковий перетворювач, що складається з плоского індуктора в вигляді плоскої "зигзагоподібної" котушки із заданим для даної частоти періодом намотки провідників.

Недоліком перетворювача є те, що при такому геометричному виконанні індуктора діаграма спрямованості збуджених ультразвукових коливань також є двонаправленою. Наявність джерела магнітного поля при контролі феромагнітних виробів приводить до швидкого зносу перетворювача. Окрім того, одночасно збуджуються імпульси завад когерентних частот об'ємних хвиль, що може призвести до неправильної оцінки якості ОК.

З метою показати перспективність безконтактного ультразвукового контролю поверхневими хвилями було розроблено ємнісний перетворювач (ЄП), нове виконання якого дозволило б

підвищити достовірність виявлення дефектів ОК за рахунок зменшення впливу діаграми спрямованості акустичного поля у двох протилежних напрямках та впливу завад когерентних частот об'ємних хвиль, а також підвищити довговічність ЄП.

Наведений на рис. 1. ЄП працює наступним чином: корпус 1, розташовують на поверхні ОК 11 так, щоб протектор 2 прилягав до поверхні ОК 11. Наприклад через з'єднувач 8 на полоскові елементи 5 секції 3 подається постійна і імпульсна напруги. В результаті на поверхневий шар ОК 11 діє постійне і імпульсне електричні поля, що приводить до збудження хвиль Релея (при тонких ОК збуджуються хвилі Лемба), які поширюються вздовж поверхні виробу 11 переважно нормально поздовжнім частинам полоскових елементів 5. Створене акустичне поле сканує поверхню ОК хвилями Релея або об'єм тонкого виробу хвилями Лемба. Якщо в ОК є дефект, то ультразвукові імпульси відбиваються від нього і надходять до полоскових елементів 6 секції 4 (рис. 2), приймаються за рахунок зворотного перетворення механічних коливань в електричні сигнали при поданні на полоскові елементи 6 секції 4 постійної напруги через з'єднувач 9. При цьому за рахунок розташування полоскових елементів 5 і 6 секцій 3 і 4 на відстані  $l = K\lambda$ , де  $l$  – відстань між збуджуючими та приймальними елементами ЄП;  $\lambda$  – довжина хвилі Релея, яка підлягає збудженню в об'єкті контролю та прийому з нього;  $K$  – експериментально визначений коефіцієнт, а також орієнтації полоскових елементів 5 і 6 під кутом  $120^\circ \pm 10^\circ$  виключається прийом когерентних акустичних завад. Або зміщення секцій 3 і 4 вздовж напрямку 10 випромінювання ультразвукових імпульсів на величину  $L = n\lambda/2$ , де  $\lambda$  – довжина поверхневої хвилі, яка збуджується у матеріалі ОК 11, мм, а  $n$  – ціле непарне число, виключається прийом когерентних акустичних завад.

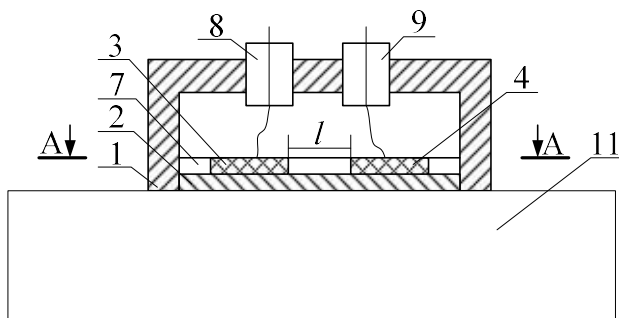


Рис. 1 – Спрощена схема роздільно – поєднаного ультразвукового ємнісного перетворювача для контролю імпульсами поверхневих хвиль та його розміщення на ОК

Встановлення відстані  $L$  кратною кільком половинам довжини високочастотної ультразвукової поверхневої хвилі необхідно для забезпечення більшої ефективності зі зменшення впливу когерентних завад від високочастотних імпульсів інших типів ультразвукових хвиль, які збуджуються одночасно з поверхневими.

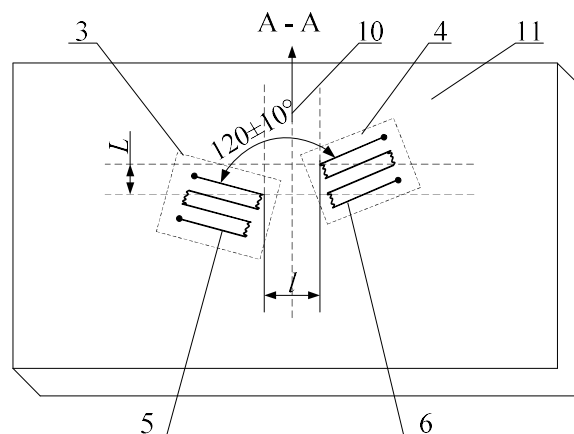


Рис. 2 – Розташування полоскових електродів секцій ЄП на поверхні ОК.

Окрім того, поверхня ОК 11 сканується тільки в одній його частині, яка знаходиться в області розкриття тупого кута  $120^\circ \pm 10^\circ$ , що також зменшує прийняття акустичних завад.

Іще однією реалізацією усунення когерентних завад (рис. 3) є розміщення полоскових елементів 5 і 6 секцій 3 і 4 на відстані  $L$  між збуджуючою 6 та приймальною 5 секціями ЄП, орієнтацією полоскових електродів 3 і 4 під кутом  $120^\circ + 30^\circ$ , а також зміщення секцій 5 і 6 вздовж напрямку 10 випромінювання ультразвукових імпульсів на величину  $l = C(t + \tau)$ ,

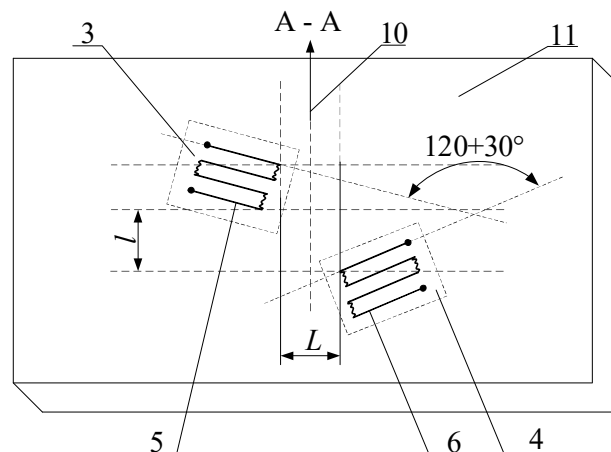


Рис. 3 – Розташування полоскових електродів секцій ЄП на поверхні ОК.

де  $C$  – швидкість поширення імпульсів ультразвукових високочастотних поверхневих хвиль в матеріалі виробу 11 який контролюється, мм;  $t$  – час поширення у виробі 11 імпульсів ультразвукових високочастотних поверхневих хвиль від збуджуючої секції 3 полоскових електродів 5 до приймальної секції 4 полоскових електродів 6, мкс;  $\tau$  – час дії поверхневого ультразвукового імпульсу при його збудженні, мкс. Величину  $l$  вибирають з умови, що за час  $t + \tau$  перехідні процеси збудження ультразвукових імпульсів закінчуються і прийом корисних сигналів буде проходити без впливу когерентних завад.

**Висновок.** Технічним результатом розробки є те, що ємнісний перетворювач даної конструкції має високу захищеність від когерентних акустичних завад.

В результаті запропонованих перетворювач і способи розташування його полоскових електродів підвищують достовірність ультразвукового контролю поверхні електропровідних виробів поверхневими ультразвуковими хвилями при високій продуктивності діагностики.

#### Список літератури

1. Коновалов Н. Н. Оценка показателей достоверности ультразвукового контроля сварных соединений // Дефектоскопия. 2003. № 9. С. 4–8.
2. Ультразвуковой контроль материалов: Справ. изд. Й. Крауткремер, Г. Крауткремер; пер. с нем. – М.: Металлургия, 1991, 752 с.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.: ил.
4. Виктор И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука, 1981.
5. Комаров В.А. Квазистационарное электромагнитно – акустическое преобразование в металлах / В.А. Комаров. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. – 235 с.
6. Сучков Г. М., Плеснецов С. Ю., Мещеряков С. Ю., Юданова Н. Н. Новые разработки электромагнитно-акустических преобразователей (обзор) // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2018. №3. С. 27–34.
7. Горделий В.И. Современные электромагнитно-акустические преобразователи для неразрушающего контроля / В.И. Горделий, В.Е.Чабанов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2005. – № 2. – С. 59–60.

#### References (transliterated)

1. Konovalov N. N. Otsenka pokazateley dostovernosti ul'trazvukovogo kontrolya svarnykh soyedineniy [Assessment of reliability indicators of ultrasonic testing of welded joints] // Defektoskopiya [Defectoscopy]. 2003. No 9. – P. 4–8.
2. Ul'trazvukovoy kontrol' materialov [Ultrasonic testing of materials]: Sprav. izd. Y. Krautkremer, G. Krautkremer; per. s nem. – Moscow : Metallurgiya, 1991, 752 s.
3. Nerazrushayushchiy kontrol' [Non-destructive testing]: Spravochnik: V 7 t. Pod obshch. red. V.V. Klyuyeva. Vol. 3: Ul'trazvukovoy kontrol' / I.N. Yermolov, YU.V. Lange. – Moscow : Mashinostroyeniye, 2004. – 864 p.: il.
4. Viktorov I.A. Zvukovyye poverkhnostnyye volny v tvordykh telakh [Sound surface waves in solids]. Moscow : Nauka, 1981.
5. Komarov V.A. Kvazistatsionarnoye elektromagnitno – akusticheskoye preobrazovaniye v metallakh [Quasistationary electromagnetic – acoustic transformation in metals] / V.A. Komarov. – Sverdlovsk: UNTS AN SSSR, 1986. – 235 p.
6. Suchkov G. M., Plesnetsov S. YU., Meshcheryakov S. YU., Yudanov N. N. Novyye razrabotki elektromagnitno-akusticheskikh preobrazovateley (obzor) [New developments of electromagnetic-acoustic transducers (review)] // Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy kontrol' [Technical diagnostics and non-destructive testing]. 2018. – No 3. – P. 27–34.
7. Gordeliy V.I. Sovremennyye elektromagnitno-akusticheskiye preobrazovateli dlya nerazrushayushchego kontrolya [Modern electromagnetic-acoustic converters for non-destructive testing] / V.I. Gordeliy, V.Ye.Chabanov // Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchiy kontrol' [Technical diagnostics and non-destructive testing]. – 2005. – No 2. – P. 59–60.

Надійшло (received) 26.06.19

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Ноздрачова Катерина Леонідівна (Ноздрачева Екатерина Леонидовна, Nozdrachova Katerina Leonidivna)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю та діагностики, НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна, ORCID ID: 0000-0002-1996-2301, e-mail: nozdrachova@gmail.com